©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Beiträge zur allgemeinen Nerven- und Muskelphysiologie.

(Aus dem deutschen physiologischen Institute in Prag.)

Fünfzehnte Mittheilung.

Über positive Nachschwankung des Nervenstromes nach elektrischer Reizung.

Von **Dr. Ewald Hering,**
Professor der Physiologie an der deutschen Universität in Prag.

Die Untersuchung der negativen Schwankung des Nervenstromes mit Hilfe der verbesserten Methoden, welche wir du Bois-Reymond verdanken, führt zu Ergebnissen, durch welche die Sätze, die der Entdecker der negativen Schwankung einst für dieselbe aufstellte, in mancher Beziehung modificirt werden.

Ich werde voraussichtlich in weiteren Mittheilungen noch öfter Gelegenheit haben, auf die negative Schwankung zurückzukommen, und beschränke mich hier auf die kurze Erörterung der Thatsache, dass die durch elektrische Tetanisirung bewirkte negative Schwankung des Nervenstromes im Allgemeinen von einer positiven Schwankung gefolgt ist, welche nach Schluss der Reizung eintritt und sich daher unmittelbar an die negative Schwankung anschliesst.

Die Angabe du Bois-Reymond's, „dass die Nadel des Multiplicators nach dem Tetanisiren stets nur mehr oder weniger unvollständig ihren Stand wieder einnimmt",[1] was er auf einen Verlust des Nerven an elektromotorischer Kraft in Folge der vorausgegangenen Erregung bezieht, erweist sich somit als im

[1] Untersuchungen über thierische Electricität. II. S. 565.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Allgemeinen nicht zutreffend. Meine Beobachtungen wurden im December und Jänner theils an Kalt-, theils an Warmfröschen (R. esculenta) angestellt. Unter den ersteren verstehe ich solche, welche frisch aus dem Keller geholt, unter Warmfröschen dagegen solche, die mehrere Tage lang in einem Zimmer aufbewahrt waren, dessen Temperatur auch des Nachts nicht unter 15° C. herabging.

Reizstrecke nenne ich die zwischen den beiden Reizelektroden gelegene Strecke des Nerven, welche stets am Plexus ischiadicus etwas unterhalb des abgebundenen oberen Endes lag und stets etwa 5 Mm. lang war; Bussolstrecke die Strecke der Ableitung, welche sich stets am unteren Ende des Nerven befand; Zwischenstrecke die zwischen der unteren Reizelektrode und der oberen Bussolelektrode befindliche Strecke. Fast ausschliesslich benützte ich unpolarisirbare Elektroden, in deren unteres mit Kochsalzthon verschlossenes Ende ein mit Kochsalzlösung (0·6‰) getränkter Pinsel gesteckt war. Als solcher diente ein gewöhnlicher Tuschpinsel, welcher beiläufig 1 Cm. über dem unteren Ende der Federspule abgeschnitten war. Wenn man viele solcher Pinsel zur Hand hat, so findet man leicht für jedes Elektrodenrohr einen, welcher genau in die Lichtung desselben passt und daher fest darin sitzt. Diese Elektroden sind also nach Art der Pinselelektroden von Fleischl eingerichtet, unterscheiden sich aber von diesen dadurch, dass statt des Gypses der nach jeder Benützung leicht zu erneuernde Modellirthon den Verschluss des unteren Röhrenendes herstellt. Auch diese Elektroden sind nur bisweilen völlig stromlos. Ich habe desshalb ihren Eigenstrom vor jedem Versuche gemessen, indem ich die beiden Pinselspitzen in directe Berührung brachte. Der so gefundene Strom ist bei den unten mitgetheilten Versuchen für jeden Einzelfall angegeben. Da es sich um die Nervenströme und also um Beobachtungen an einer entsprechend empfindlichen Bussole handelt, so erscheinen die Ablenkungen durch den Elektrodenstrom bisweilen beträchtlich. Man darf aber nicht vergessen, dass nach Einschaltung des Nerven mit seinem grossen Widerstande der Eigenstrom der Elektroden die durch den Nervenstrom an sich bedingte Ablenkung des Magneten bei Weitem nicht so erheblich ändert, als ohne jene Widerstandszunahme der Fall sein müsste. Auf den Betrag der

nach Compensation des Nervenstromes beobachteten negativen oder positiven Schwankung hat der Eigenstrom der Elektroden keinen Einfluss. Ich habe desshalb auch keine weitere Mühe darauf verwandt, ganz stromlose Elektroden herzustellen, wie diess in andern Fällen allerdings nöthig war. Bereitet man sich eine grössere Anzahl der beschriebenen Elektroden, so findet man meist zwei heraus, die wenigstens eine Zeit lang ganz oder nahezu stromlos sind. Auch die Reizströme wurden durch die genannten Pinselelektroden zugeführt. Eine feuchte Kammer schützte vor Vertrocknung der Nerven, begünstigte aber freilich zugleich die unipolaren Wirkungen. Es wurden desshalb fast immer nur sehr schwache Reizströme benützt und zahlreiche Controlversuche, insbesondere mit Zerquetschung des Nerven auf der Zwischenstrecke gemacht. Der secundären Spirale (5000 W.) des mit einem Daniell'schen Elemente versehenen Schlittenapparates wurde die primäre fast nie näher als 20 Cm. gebracht, unter welchen Umständen nie irgend welche unipolare Wirkung bemerkbar wurde. Trotz dem Widerstande der unpolarisirbaren Reizelektroden erwiesen sich die so erhaltenen Inductionsströme als völlig zureichend. Wegen der mancherlei Übelstände, welche der in den physiologischen Laboratorien gebräuchliche Inductionsapparat hat, wurden auch andere Inductionsvorrichtungen benützt.

Um abwechselnd gerichtete, physiologisch gleichwerthige Ströme zu erhalten, habe ich mir vor einigen Jahren folgenden Apparat improvisirt. Eine secundäre Spirale von 7110 Windungen wurde so montirt, dass sie um eine verticale Axe drehbar ist. Die Enden der Spirale gehen in schmale Schneiden aus, welche in kreisförmigen, mit Quecksilber gefüllten Rinnen laufen, deren eine sich oberhalb, die andere unterhalb der rotirenden Spirale befindet. Diese Rinnen sind mit den Reizelektroden leitend verbunden. Ein Schnurlauf vermittelt die Drehung der Spirale. Bringt man die durchströmte primäre Spirale eines gewöhnlichen Schlittenapparates oder einen starken Magneten in die Nähe der rotirenden Spirale, so erhält man bei genügender Drehungsgeschwindigkeit hinreichend wirksame, abwechselnd gerichtete Inductionsströme, welche auch in physiologischer Beziehung ganz gleichwerthig sind. Die Stromstärken lassen sich einerseits durch die Zahl der Elemente, welche den primären Strom liefern, ander-

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

seits aber aufs Feinste durch Änderung des Abstandes der primären Spirale, beziehungsweise des Magneten variiren. Schon mit einem Daniell'schen Element erhielt ich bei 20 Umdrehungen in der Secunde an empfindlichen Präparaten Tetanus, wenn die Spiralen (in Parallelstellung) einen Abstand ihrer Axen von 9 Cm. hatten, wobei die obersten Drahtlagen beider Spirale 25 Mm. von einander abliegen. Bei den vorliegenden Versuchen gaben drei Daniell'sche Elemente den primären Strom, die Spiralen waren einander ebenfalls möglichst nahe und die Zahl der Umdrehungen betrug beiläufig 20 in der Secunde, was der doppelten Zahl von Inductionsströmen entspricht.

Ferner wurde ein Inductionsapparat benützt, an welchem die primäre Spirale durch einen einzigen leitenden Ring ersetzt ist. Ein 30 Mm. breiter Abschnitt eines sehr dünnen Holzcylinders von 87 Mm. Durchmesser, also ein platter Holzring (besser wäre ein Hartgummiring), wurde mit 1120 Windungen eines dünnen Kupferdrahtes umwunden. Ebenso ein gleichbreiter, etwas grösserer Ring, welcher concentrisch um den kleinen Ring so lag, dass beide hinreichend von einander abstanden, um das Einschieben eines dünnen Kupferringes (von 104 Mm. Durchmesser) zwischen beide Holzringe zu gestatten. Der Kupferring hat nahezu dieselbe Breite (25 Mm.) wie die Holzringe, ist an einer Stelle geschlitzt, also nicht in sich geschlossen. Er besteht aus einem kreisförmig gebogenen Kupferstreifen, dessen beide Enden mit Klemmschrauben in leitender Verbindung sind, welche die Poldrähte der Batterie aufnehmen. Zur Unterbrechung des so gebildeten primären Kreises ist ein besonderer Interruptor nöthig. Als solcher dient mir entweder ein mit zwölf Kupferspitzen besetztes Rad, welche in rascher Folge eine Quecksilberkuppe durchschneiden, oder ein passend abgeänderter Wagner'scher Hammer, der durch ein eigenes Element in Thätigkeit gesetzt wird und ausser der rhythmischen Unterbrechung des eigenen Stromkreises zugleich die rhythmische Unterbrechung des erwähnten primären Kreises besorgt. Die Einschaltung des Hammers in diesen primären Kreis selbst, wie sie bei den gewöhnlichen Inductionsapparaten stattfindet, verbietet sich bei unserem Apparate desshalb, weil dann die Spirale des Elektromagneten sich im primären Kreise befände und in dieser Spirale Extraströme entstehen müssten, welche eben

vermieden werden sollten. Die auf dem äusseren Holzringe befindlichen Drahtwindungen bilden mit der auf dem inneren Ringe befindlichen zusammen die secundäre Spirale. Die grosse Nähe, in der sich alle Windungen dieser Doppelspirale zum inducirenden Kupferringe befinden, bedingt es, dass schon ein Daniell'sches Element genügt, um an sehr empfindlichen Nervenmuskelpräparaten Tetanus zu erzielen. Bei den hier in Betracht kommenden Versuchen wurde der Apparat mit drei Daniell'schen Elementen versehen. Die Variirung der Stärke der Inductionsströme wird dadurch ermöglicht, dass der Kupferring verschiebbar ist und theilweise oder ganz aus den Ringen der secundären Spirale hinausgerückt werden kann.

Obwohl dieser Inductionsapparat den gebräuchlichen bei allen Versuchen vorzuziehen ist, wo ein möglichst gleicher Verlauf der Schliessungs- und Öffnungsströme wünschenswerth ist, so theilt er doch mit jenen die Übelstände, welche durch den Unterbrechungsapparat bedingt sind, und insbesondere auch den Übelstand, dass das Zeitintervall zwischen Schliessung und folgender Öffnung nicht dem zwischen Öffnung und folgender Schliessung ganz gleich ist, falls man nicht einen besonderen Interruptor benützen will, welcher letzteres ermöglicht. Eine ganz genaue Gleichwerthigkeit der Schliessungs- und Öffnungsströme in physiologischer Beziehung fand auch bei diesem Apparate nicht statt.

Der von mir benützte Apparat ist nur für Nervenerregung berechnet. Man kann aber die Stärke der Inductionsströme bei gleicher Windungszahl der secundären Spirale vergrössern, wenn man den Ringen einen entsprechend grösseren Durchmesser gibt.

Auch mit den Öffnungsströmen eines gewöhnlichen Inductionsapparates, dessen Schliessungsströme abgeblendet wurden, habe ich aufsteigend oder absteigend den Nerven erregt. Endlich wurden auch unterbrochene Kettenströme benützt, um die Nerven zu reizen, und zwar bald nur absteigende, bald nur aufsteigende, bald abwechselnd gerichtete. In allen Fällen liess sich die positive Nachschwankung des Nervenstromes sehr deutlich nachweisen.

Alle Versuche wurden mittels einer Wiedemann'schen Bussole mit aperiodisch schwingenden Magneten gemacht. Dieselbe eignete sich zu diesen Versuchen nicht besonders, weil die

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Beruhigungszeit des Magneten im Verhältnisse zum Ablauf der positiven Schwankung zu gross war. Ich werde Gelegenheit nehmen, die Versuche mit einer geeigneteren Bussole zu wiederholen. Der Theil der Erscheinung, auf den es mir hier zunächst ankommt, liess sich auch mit der genannten Bussole hinreichend feststellen.

Die Untersuchung der positiven Nachschwankung ist in dreifach verschiedener Weise möglich.

Erstens ohne Compensator. Man leitet den Nervenstrom vom unteren Ende des Nerven ab und wartet, nachdem der Magnet seine neue Lage angenommen hat, einige Zeit, um die Constanz des Nervenstromes zu controliren. Hat man sich von derselben überzeugt, so tetanisirt man den Nerven nahe dem andern Ende. Infolge der Reizung schwingt der Magnet um eine entsprechende Strecke zurück. Endet man nun die Reizung, so geht derselbe wieder vorwärts und zwar etwas über die Lage hinaus, die er vor der Reizung inne hatte, kehrt aber meist sofort wieder um und langsam in die letzterwähnte Lage zurück: hiermit ist die positive Nachschwankung vorüber. Selbstverständlich ist hierbei vorausgesetzt, dass der Magnet wirklich genau aperiodisch schwingt, denn andernfalls würde sein Hinausgehen über die ursprüngliche Ablenkung nichts für eine vorübergehende Zunahme des Nervenstromes beweisen. Ich gebe für derartige Versuche ein Beispiel:

Warmfrosch. Bussolstrecke 5 Mm. Zwischenstrecke 30 Mm. Du Bois' Schlittenapparat.

Ablenkung durch den Eigenstrom der Elektroden von	500	auf 510	
Ablenkung durch den Nervenstrom.....	500	621	= + 121
Reizdauer 10″, Rückgang des Magneten.....		609	= — 12
Ablenkung nach Schluss der Reizung...		625	
Sofortige Rückkehr des Magneten.....		621	
Also positive Nachschwankung im Betrage von			+ 4

Weit vorzuziehen ist die Untersuchung bei compensirtem Nervenstrome. Die negative Schwankung des Nervenstromes findet dann ihren Ausdruck bekanntlich darin, dass der Magnet unter dem Einflusse des jetzt überwiegenden Compensationsstromes aus seiner Gleichgewichtslage im entgegengesetzten Sinne abgelenkt wird. Nach Schluss der Reizung geht nun aber

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

der Magnet nicht nur in die Gleichgewichtslage zurück, sondern über dieselbe hinaus und kehrt sodann entweder sofort oder wenigstens nach kurzer Zeit wieder um und langsam in die Gleichgewichtslage zurück. Hiermit ist die positive Nachschwankung abgelaufen. Es ist aber, wenn es nicht darauf abgesehen ist, den ganzen Verlauf der positiven Schwankung zu beobachten, zweckmässig, den Bussolkreis zu öffnen, sobald die positive Nachschwankung ihr Maximum erreicht hat und der Magnet sich eben zur Umkehr anschickt. Denn auf diese Weise wird die Controle erleichtert, dass der Magnet während der Dauer beider Schwankungen nicht durch Spontanablenkung seine Gleichgewichtslage geändert hat. Ich gebe auch hiefür ein Beispiel:

Kaltfrosch. Du Bois-Schlittenapparat. Boussolstrecke 10 Mm. Zwischenstrecke circa 30 Mm.

Die römischen Ziffern entsprechen hier und im Folgenden der Reihenfolge der einzelnen Reizungen. Die mit Minuszeichen versehene Zahl gibt die Abnahme des Nervenstromes während der Reizung, die mit Pluszeichen versehene die nach Schluss der Reizung eintretende vorübergehende Zunahme des Nervenstromes. Die jeweilige Reizdauer ist in Secunden angegeben.

Eigenstrom der Elektroden $+40^{sc.}$, Nervenstrom $+154^{sc.}$.

I. 5″	− 15 + 2	IV. 20″	− 16 + 8·5
II. 5″	− 14 + 3	V. 20″	− 16 + 6·5
III. 10″	− 17 + 5		

Kaltfrosch. Reizung mit dem Rotationsapparate. Bussolstrecke 8 Mm. Zwischenstrecke 38 Mm.

Eigenstrom der Elektroden +7, Nervenstrom +195.

I. Reizdauer 15″	− 41 + 12	II. Reizdauer 20″	− 38 + 9·5

Die Zunahme des Nervenstromes nach Schluss der Reizung ist eine bald vorübergehende. Ich bemerkte oft, dass der infolge der Reizung des Nerven negativ abgelenkte Magnet im Augenblicke der Beendigung der Reizung plötzlich einen Anlauf zur Bewegung in entgegengesetzter Richtung nahm, der zur schliesslichen neuen Ablenkung des Magneten nicht im Verhältnisse stand. Schon hieraus wurde wahrscheinlich, dass der positive Zuwachs des Nervenstromes unmittelbar nach der Reizung

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

grösser ist, als er sich in der schwachen positiven Ablenkung des Magneten darstellt, welche derselbe schliesslich zeigt. Ehe der träge, langsam nach dem Nullpunkte zurückgehende Magnet diesen noch erreicht hat, kann ein wesentlicher Theil des positiven Zuwachses des Nervenstromes bereits wieder abgeklungen sein, so dass nur noch der Rest den Magneten über die Mittellage hinaus in positive Ablenkung bringt. Hieraus lässt sich erklären, dass bisweilen, besonders an minder erregbaren oder schon ermüdeten Nerven die positive Ablenkung des Magneten bei der genannten Art der Beobachtung ganz ausbleibt.

Es ergibt sich aber hieraus die Forderung, nach genauer Compensation des Nervenstromes den Bussolkreis während der Dauer der Reizung zu öffnen und erst unmittelbar nach dem Ende der Reizung wieder zu schliessen, was überdiess den Vortheil hat, dass nicht während der Reizdauer ein dem Betrage der negativen Schwankung entsprechender Theil des Compensationsstromes durch den Nerv geht. Dies ist die dritte und bei weitem beste Art die positive Nachschwankung zu untersuchen. Ein aperiodisch schwingender Magnet wäre hierbei gar nicht nöthig.

Bei dem so angestellten Versuche zeigte sich die Richtigkeit der oben ausgesprochenen Vermuthung, insofern ich wesentlich stärkere positive Ablenkungen des Magneten erhielt, als wenn der Bussolkreis während der Reizung geschlossen blieb.

Ich bediente mich hierbei derselben Doppelwippe, welche ich bei den in der zwölften Mittheilung beschriebenen Polarisationsversuchen benützt habe. Bei der einen Lage der Wippe ist der Reizkreis (hier also meist der Kreis der secundären Spirale) an zwei Stellen unterbrochen, während der Bussolkreis geschlossen ist; bei der anderen Lage ist umgekehrt der Bussolkreis an zwei Stellen unterbrochen und der Reizkreis geschlossen. Aus der letzten Lage wird die Wippe durch eine Auslösung so übergeführt, dass die Übertragungszeit, d. h. die Zeit zwischen Öffnung des Reizkreises (Ende der Reizung) und Schliessung des Bussolkreises immer gleich gross ist. Sie betrug in unseren Fällen zwischen 0″026 und 0″034. [1]

---

[1] Dies ist nicht so zu verstehen, als ob die Übertragungszeit innerhalb der angegebenen Grenzen variirt hätte, vielmehr darf ich annehmen, dass sie

Freilich erhält man bei dieser Art der Untersuchung nicht zugleich auch Aufschluss über die Grösse der negativen Schwankung. Dazu würden zwei Beobachter und zwei Bussolen, jede mit besonderem Compensator nöthig sein. Die den Nervenstrom ableitenden Elektroden müssten durch eine Wippe bald mit der einen, bald mit der anderen Bussole verbunden werden können. An beiden Bussolen müsste der Nervenstrom compensirt und hierauf an der einen die negative Schwankung beobachtet werden. Bei Beendigung der Reizung wären dann die Elektroden rasch mit der anderen Bussole zu verbinden, an welcher die positive Schwankung beobachtet würde. Indessen lässt sich dem genannten Übelstande einigermassen auch dadurch abhelfen, dass man an einem und demselben Nerven und bei gleicher Stärke und Dauer der Reizung abwechselnd nach der dritten und nach der zweiten Methode beobachtet. Will man auf eine Beobachtung nach der dritten Methode eine solche nach der zweiten folgen lassen, so ist nur nöthig, während der Bussolkreis durch die Wippe geschlossen bleibt, die vier an der Doppelwippe fixirten Drahtenden der beiden Unterbrechungsstellen des Reizkreises zu je zwei leitend mit einander zu verbinden. Da es ohnehin zweckmässig ist, die einzelnen Reizungen des Nerven sich nicht zu schnell folgen zu lassen, so hat man hinreichende Zeit, abwechselnd die eine und die andere Einrichtung zu treffen und somit bald die positive Schwankung allein, bald die negative Schwankung nebst der ihr folgenden positiven zu beobachten.

Ausnahmslos fand ich bei der letztgenannten Art der Beobachtung eine kleinere positive Schwankung als bei der anderen, welche ich kurz als Beobachtung „mit Wippe“ unterscheiden will. Einige Beispiele mögen dies erläutern.

---

immer ziemlich genau dieselbe war. Die Methode, nach welcher ich die fragliche Zeit bestimmte, gestattet nicht, dieselbe direct zu messen, sondern ergibt nur einerseits einen Werth, den die fragliche Übertragungszeit unmöglich übertreffen, anderseits einen Werth, unter welchem sie unmöglich zurückbleiben kann. Ob aber die wirkliche Übertragungszeit dem einen oder anderen Werthe näher liegt, lässt sich nach dieser Methode nicht entscheiden.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Kaltfrosch. Reizung mit dem Rotationsapparate. Bussolstrecke 8 Mm. Zwischenstrecke 37·5 Mm. Reizdauer 20″.

Eigenstrom der Elektroden —38. Nervenstrom +188.

I.	Reizung mit Wippe	+21
II.	ohne	−38 +9
III.	mit	+13
IV.	„ „	+12.

Die positive Ablenkung von 21sc., welche bei der ersten Reizung auftrat, ist überhaupt die grösste, welche ich gesehen habe. Auch war sie sehr anhaltend, denn 20″ nach Erreichung des Maximums der Ablenkung zeige sich immer noch eine positive Ablenkung von +10. Die völlige Rückkehr des Magneten wurde nicht abgewartet, um den Nullpunkt controliren zu können.

Warmfrosch. Reizung mit dem Rotationsapparate. Bussolstrecke 7·5 Mm. Zwischenstrecke 33 Mm. Reizdauer 20″.

Eigenstrom der Elektroden —46. Nervenstrom +167.

I. Ohne Wippe	−26 +9	III. Ohne Wippe	−22 +2
II. Mit	+13	IV. Mit	+6.

Kaltfrosch. Reizung mit du Bois' Schlittenapparat. Bussolstrecke 9 Mm. Zwischenstrecke etwa 30 Mm. Reizdauer 10″.

Elektrodenstrom +17. Nervenstrom +104.

I.	Mit Wippe	+8
II.	Ohne	−13 +4
III.	Mit	+5·5.

Kaltfrosch. Reizung mit du Bois' Schlittenapparat. Bussolstrecke 8 Mm. Zwischenstrecke 25 Mm. Reizdauer 12″.

Elektrodenstrom —43. Nervenstrom +85.

I. Mit Wippe	+10	IV. Ohne Wippe	−15 +3
II. Ohne	−19 +5·5	V. Mit	+3·5.
III. Mit	+7·5		

Während die negative Schwankung bei oft wiederholter mässiger Reizung, trotz nur kleiner Pausen zwischen den einzelnen Reizungen, an guten Nerven nur wenig oder gar nicht abnimmt, ist die positive Nachschwankung, soviel ich sah, bei der ersten Reizung am grössten, um bei den folgenden sofort und zwar zuerst sehr rasch, dann immer langsamer, schliesslich aber nur noch kaum merklich abzunehmen. Trotz sehr oft wiederholter mässiger und kurz dauernder Reizungen habe ich doch die

positive Schwankung nicht ganz verschwinden gesehen, wenn sie auch im Vergleich zu der dabei fast unverändert fortbestehenden negativen Schwankung sehr klein wurde. Doch setzt dies gesunde Nerven voraus.

Ein Beispiel möge genügen:

Kaltfrosch. Beide Nerven zugleich benützt. Du Bois' Schlittenapparat. Bussolstrecke 7 Mm. Zwischenstrecke 26 Mm. Reizdauer 12″. Abwechselnd mit und ohne Wippe.

Elektrodenstrom +40, Nervenstrom +294.

		Ohne Wippe	Mit			Ohne Wippe	Mit
I.	5^h 5'5		+10	XII.	5^h 37'5		+ 4
II.	5 7·5	−25 + 3		XIII.	5 41	−20 + 0	
III.	5 10		+ 6	XIV.	5 43·5		+ 3
IV.	5 14	−22 + 2		XV.	5 44·5	−20 + 0	
V.	5 17·5		+ 5	XVI.	5 46		+ 4
VI.	5 22	−20 + 1·5		XVII.	5 49	−19 + 0	
VII.	5 25		+ 5	XVIII.	5 50·5		+ 4
VIII.	5 26·5		?	XIX.	5 52·5	−19 + 0	
IX.	5 32·5	−19 + 0		XX.	5 54		?
X.	5 34·5		+ 4·5	XXI.	5 55·5		+ 4
XI.	5 36·5	−20 + 0		XXII.	5 57	−19·5 + 0	

Die positive Nachschwankung wächst bis zu einer gewissen Grenze mit der Dauer der Erregung. Sie wurde schon bemerklich, wenn die Reizdauer auch nur einen Bruchtheil einer Secunde betrug, und war nach einer durch eine Secunde dauernden Reizung bisweilen schon beträchtlich. Die von der Reizdauer abhängige Zunahme ist nur bei überhaupt kurzen Reizungen auffällig, weiterhin wächst sie nur noch wenig mit zunehmender Dauer der Reizung, nimmt wieder ab, wenn die Reizdauer eine gewisse Grenze überschreitet, und verschwindet mit weiterem Wachsen derselben schliesslich ganz. Bei einer Reizdauer von fünf Minuten fand ich in zwei Fällen nach Schluss der Reizung nicht nur keine positive Nachschwankung mehr, sondern bereits eine zurückbleibende Schwächung des Nervenstromes um einige Scalentheile. In dieser

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Beziehung verhält sich die positive Nachschwankung ganz entgegengesetzt der negativen Schwankung. Die während der Reizung stattfindende Schwächung oder negative Schwankung des Nervenstromes ist auch bei minutenlanger mässiger Reizung eine ziemlich constante und nimmt mit der Reizdauer eher zu als ab. Bei fünf Minuten währender Reizung sah ich wiederholt keine Abnahme des Betrages der negativen Schwankung, sondern vielmehr eine mässige Zunahme, welch' letztere nur in einzelnen Fällen und auch da nur zum Theil mit einer dauernden Schwächung des Nervenstromes zusammenhing, während der letztere sich in anderen Fällen nach Schluss der langen Reizung ganz ungeändert zeigte. Nur aus einer grossen Versuchsstatistik könnte das Gesetz der Abhängigkeit der positiven Schwankung von der Reizdauer genauer abgeleitet werden, weil bei wiederholter Reizung an einem und demselben Nerven sich die erörterte, auch bei immer gleichbleibender Reizdauer eintretende Abnahme der positiven Nachschwankung geltend machen muss. Unmittelbar nach einer längeren Reizung gibt kurze Reizung mit derselben Stromstärke keine positive Schwankung. Gönnt man aber dem Nerven längere Ruhe, so zeigt sich wieder kräftige positive Nachschwankung.

Die folgenden Versuche geben im Verein mit den schon früher mitgetheilten eine ungefähre Vorstellung von der Art, wie die Grösse der positiven Schwankung sich mit der Reizdauer bei wiederholter Reizung desselben Nerven ändert. Die römischen Ziffern bezeichnen wieder die Reihenfolge der einzelnen Reizungen, welche sich in Zeiträumen von etwa 2—3 Minuten folgten.

Warmfrosch. Du Bois' Schlittenapparat. Bussolstrecke 10 Mm. Zwischenstrecke beiläufig 30 Mm. Mit Wippe.

Eigenstrom der Elektroden +17. Nervenstrom +170.

I. Reizdauer	3″ ... + 2	IV. Reizdauer	20″ ... + 5
II.	5″ ... + 3	V.	30″ ... + 4
III.	10″ ... + 4·5	VI.	... + 0·5.

Kaltfrosch. Du Bois' Schlittenapparat. Bussolstrecke 10 Mm. Zwischenstrecke 35 Mm. Mit Wippe. Pause zwischen den einzelnen Reizungen etwa 2′.

Elektrodenstrom −59. Nervenstrom +81.

I. Reizdauer	1″ .... + 1	V. Reizdauer	8″ .... + 3
II.	2″ .... ?	VI.	16″ .... + 3·5
III.	2″ .... + 2	VII.	32″ . + 3.
IV.	4″ .... + 2·5		

Kaltfrosch. Du Bois' Schlittenapparat. Bussolstrecke 9 Mm. Zwischenstrecke beiläufig 30 Mm. Mit Wippe.

Elektrodenstrom +40. Nervenstrom +134.

I.	Reizdauer 1″	+ 4	
II.	1″	+ 3	
III.	3″	+ 4·5	
IV.	5″	+ 6	
V.	10″	+ 7	
VI.	3″	+ 4·5	
VII.	10″	+ 6·5	
VIII.	20″	+ 6	
IX.	Reizdauer 1″	+ 1	
X.	5″	+ 4	
XI.	10″	+ 5	
XII.	30″	+ 5	
XIII.	5″	+ 2·5	
XIV.	60″	+ 5·5	
XV.	10″	+ 4.	

Kaltfrosch. Reizung mit Schlittenapparat. Bussolstrecke 9 Mm. Zwischenstrecke beiläufig 30 Mm. Mit Wippe.

Eigenstrom der Elektroden +17. Nervenstrom +103.

I.	Reizdauer 1″	+ 3	
II.	2″	+ 5·5	
III.	5″	+ 7	
IV.	10″	+ 8	
V.	Reizdauer 20″	+ 9	
VI.	5″	+ 4	
VII.	10″	+ 6.	

Kaltfrosch. Reizung wie beim vorigen Versuche. Mit Wippe. Bussolstrecke 8 Mm. Zwischenstrecke 32 Mm.

Erster Nerv. Elektrodenstrom −40. Nervenstrom +81.			Zweiter Nerv. Elektrodenstrom −45. Nervenstrom +84.		
I.	Reizdauer 20″	+ 6	I.	Reizdauer 60″	+ 10·5
II.	30″	+ 7	II.	50″	+ 7
III.	40″	+ 5	III.	40″	+ 5
IV.	50″	+ 4	IV.	30″	+ 4
V.	60″	+ 3	V.	20″	+ 3
			VI.	10″	+ 2·5
			VII.	5″	+ 2
			VIII.	30″	+ 3·5
			IX.	30″	+ 3.

Der Umstand, dass es genügt, den Nerven nur während eines Bruchtheiles einer Secunde zu tetanisiren, um schon positive Nachschwankung zu erhalten, legte den Gedanken nahe, dass auch ein einziger Momentanreiz genügen werde, um eine solche Nachschwankung in schwachem Masse herbeizuführen. Meine Versuche, dies mittelst der Repetitionsmethode nachzuweisen,

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

scheiterten aus Gründen, die in einer weiteren Mittheilung über die negative Schwankung zu erörtern sein werden.

Wie die negative Schwankung, so wächst auch die positive Nachschwankung mit der Stärke der Reizströme, jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze. Genauere Angaben würden auch hier nur aus einer sehr grossen Zahl von Versuchen abzuleiten sein. Die Abnahme in Folge wiederholter Reizung macht sich hier, wo es sich um zunehmende Reizgrössen handelt, selbstverständlich ebenfalls sehr bald geltend.

In den folgenden Versuchsreihen betrug die Zeit zwischen zwei sich folgenden Reizungen beiläufig drei Minuten.

Kaltfrosch. Du Bois' Schlittenapparat. Bussolstrecke 9 Mm. Zwischenstrecke 34 Mm. Mit Wippe. Reizdauer stets 10″.

Elektrodenstrom + 30. Nervenstrom + 133.

I.	Rollenabstand 50 Ctm.	+ 4	VIII.	Rollenabstand 30 Ctm.	+ 4·5
II.	40	+ 4	IX.	40	+ 3
III.	30	+ 6	X.	50	+ 1
IV.	20	+ 7	XI.	20	− 19 + 1
V.	15	?			
VI.	15	+ 6			(ohne Wippe)
VII.	20	+ 5·5	XII.	20	+ 5

Kaltfrosch. Reizung wie beim vorigen Versuche. Bussolstrecke 9 Mm. Zwischenstrecke 27 Mm. Reizdauer 10″. Mit Wippe.

Elektrodenstrom + 30. Nervenstrom + 151.

I.	Rollenabstand 50 Ctm.	0	
II.	40	+ 3·5	
III.	30	+ 5·5	
IV.	20	+ 7	
V.	20	− 18 + 2·5	(ohne Wippe).

Das Grössenverhältniss zwischen der negativen und positiven Schwankung würde zu seiner genaueren Feststellung die oben erwähnte gleichzeitige Beobachtung an zwei Bussolen erfordern. Bei kurzer Reizdauer entspricht wegen der Trägheit des Magneten der beobachtete Ausschlag des Magneten nicht der Grösse der negativen Schwankung: ehe noch der Magnet die Ablenkung erreicht, welche der Abnahme des Nervenstromes angemessen

sein würde, ist die Reizung schon beendet. Desshalb sind alle für kurz dauernde Reizungen (unter beiläufig 10″) gefundene und im Obigen angegebene Werthe der negativen Schwankung viel zu klein. Für die positive Nachschwankung fällt dieser Übelstand weg, denn es konnte ja hier stets das Maximum der Ablenkung des Magneten abgewartet werden. Gleichwohl geben auch die hiefür gefundenen Werthe kein richtiges Bild von der Grösse der positiven Schwankung, weil dieselbe, wie schon oben erwähnt wurde, rasch wieder abnimmt, und zwar höchst wahrscheinlich zu schnell, als dass der träge Magnet den der ursprünglichen Grösse der Schwankung entsprechenden Ausschlag geben kann. Es ist desshalb wünschenswerth, diese Versuche unter passenderen Bedingungen zu wiederholen.

Am besten noch bekommt man über das Grössenverhältniss der positiven und negativen Schwankung Aufschluss, wenn man bei gleicher Stärke und Dauer des Reizes abwechselnd mit und ohne Wippe untersucht, wie dies oben erörtert wurde. Hiebei zeigte sich, dass die positive Schwankung nicht selten den halben Werth der negativen Schwankung erreichte, selten darüber hinausging, gewöhnlich aber dahinter zurückblieb.

Die Dauer der positiven Schwankung unter verschiedenen Umständen habe ich nicht genauer festgestellt. War die positive Schwankung an sich gross, so können Minuten vergehen, ehe sie völlig verklungen ist. Meist berechnet sich ihre Dauer nur nach Secunden.

Ganz anders kann sich das Bild der Schwankung des Nervenstromes gestalten, wenn man beim Tetanisiren des Nerven zu stärkeren Inductionsströmen übergeht, wobei dann, insbesondere bei Mitbenützung von Öffnungsschlägen, die unipolaren Wirkungen sich einmischen. Bei welchem Rollenabstande, beziehungsweise welcher Stärke des primären Stromes diese Einmischung beginnt, muss für jede bestimmte Einrichtung des Versuches durch besondere Controlversuche festgestellt werden. Es ist, wie schon du Bois-Reymond hervorgehoben hat, selbst bei der sorgfältigsten Isolirung des Kreises der secundären Spirale einerseits und des Multiplicator- oder Galvanometerkreises anderseits

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

unmöglich, eine unipolare Wirkung, besonders der Öffnungsinductionsströme, völlig auszuschliessen. Sobald dieselben nicht sehr schwach sind, fliesst die Elektricität in merklichen Masse durch die Zwischenstrecke des Nerven hindurch in den Bussolkreis. Da nun die Elektricität den Nerven insbesondere da erregt, wo sie die erregbare Substanz desselben betritt oder verlässt, so beschränkt sich nunmehr der Ort der Reizung nicht auf die Nervenstrecke, welchen die Reizelektroden anliegen, sondern es findet eine zweite directe Reizung in der Gegend der Bussolelektroden statt. Diese unipolare Wirkung ist bei gleicher Kraft der Reizströme um so grösser, je grösser die zwischen den Reizelektroden gelegene Nervenstrecke und je weniger dieselbe benetzt ist. Ich habe bei meinen Versuchen dafür Sorge getragen, dass bei Reizungen mit Schliessungs- und Öffnungsströmen die Zwischenstrecke nicht kleiner als 25 Mm. und die Reizstrecke nicht grösser als 5 Mm. war, und obwohl zahlreiche Controlversuche zeigten, dass selbst in diesen Grenzfällen, bei einem Rollenabstande, der grösser war als 13 Cm., nie unipolare Wirkungen auftraten, sofern der primäre Strom von nur einem Daniell'schen Element erzeugt wurde, habe ich doch fast immer bei einem Rollenabstande von 20 Ctm. gereizt. Wurden die Rollen ausnahmsweise einander noch mehr genähert, so wurde stets zum Schlusse ein Controlversuch mit Quetschung des Nerven auf der Zwischenstrecke gemacht. Bei kleineren Reizstrecken und guter Benetzung derselben war freilich eine viel weitergehende Näherung der beiden Rollen ohne merkliche unipolare Wirkung möglich. Ist das Ende des Nerven nicht in einen Bussolkreis eingeschaltet, sondern nur mit dem wohlisolirten Muskel in Verbindung, so ist unter den oben angeführten Bedingungen eine unipolare Wirkung allerdings noch lange nicht zu fürchten.

Die Änderungen im Verlaufe der Schwankung des Nervenstromes, welche bei Anwendung starker Ströme und gleichzeitiger Einmischung unipolarer Wirkungen herbeigeführt werden, sind, so viel ich bis jetzt gesehen habe, im Wesentlichen folgende:

Die positive Nachschwankung wird schwächer und bleibt bei einigermassen erheblicher unipolarer Wirkung ganz aus. Wird letztere jetzt weiter gesteigert, so geht vielmehr nach Schluss der Reizung der Magnet nicht wieder in die ursprüngliche Ablenkung,

oder wenn man compensirt hat, nicht wieder bis zum Nullpunkte zurück. Es bleibt also eine Schwächung des Nervenstromes zurück, wie sie du Bois-Reymond als Regel ansah. Dieselbe gleicht sich aber allmälig wieder aus, doch sind hiezu, wenn die Schwächung erheblich war, schon viele Minuten nothwendig, während sehr geringe Schwächungen sich schon nach mehreren Secunden wieder verlieren. Reizt man jedoch wiederholt mit kurzen Pausen und mit derselben Stromstärke und derselben Reizdauer, so zeigt sich die negative Schwankung bei jeder neuen Reizung kleiner, als bei der vorhergegangenen. Die zurückbleibende Schwächung des Nervenstromes wird gleichwohl grösser und man bekommt den Eindruck einer zunehmenden Erschöpfung des Nerven. Steigert man folgeweise die Stromstärke, so nimmt die negative Schwankung immer mehr zu und die zurückbleibende Schwächung des Nervenstromes wächst ebenfalls. Bei grossen Stromstärken verschwindet der Nervenstrom während der Reizung gänzlich und stellt sich nach Schluss derselben nur sehr langsam theilweise wieder her. Endlich kann es sogar dazu kommen, dass der Nervenstrom während der Reizung seine Richtung umkehrt. Nach Schluss der Reizung klingt dieser verkehrte Nervenstrom langsam wieder ab; reizt man jetzt nochmals, so kann der verkehrte Strom noch weiter wachsen und nach Schluss der Reizung einige Zeit in abnehmenden Maasse fortbestehen. In anderen Fällen bleibt es bei einem dauernden Verschwinden des Nervenstromes; der Nerv hat scheinbar seine elektromotorische Kraft dauernd verloren.

Aber die letztgenannten tief greifenden Änderungen im elektrischen Verhalten des Nerven sind lediglich die Folge seiner Alteration in der Gegend der Bussolelektroden, besonders der oberen. Schneidet man das alterirte Stück des Nerven ab und leitet vom neuen Querschnitt und einem entsprechend höher gelegenen Punkte des Längsschnittes ab, so erhält man wieder einen kräftigen Nervenstrom und kann, wenn man abermals das andere Ende des Nerven reizt, ganz dasselbe Schauspiel sich wiederholen sehen.

Man darf also nicht meinen, dass die hier beschriebene Abnahme des Nervenstromes, beziehungsweise sein gänzliches Verschwinden auf einer entsprechenden Abnahme oder gänzlicher

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Vernichtung des elektromotorischen Vermögens des ganzen Nerven beruhe, und nicht um eine „völlige Erschöpfung des thierischen Erregens" handelt es sich hier. Ein kräftiger Nerv ist ein relativ dauerhaftes Gebilde und es ist staunenswerth, wie lange er selbst sehr starke Erregungen aushält. Nur local wird er durch starke Ströme nachhaltig alterirt. Die nicht direct gereizte, wenn auch in starke mitgetheilte Erregung versetzte Strecke leidet viel weniger, selbst bei langer Reizdauer.

Man hat sich von der leichten Ermüdbarkeit des Nerven sehr übertriebene Vorstellungen gemacht. Wenn die unipolaren Wirkungen ausgeschlossen sind, so kann man den Nerven sehr oft hintereinander oder auch sehr lange reizen, ohne dass der abgeleitete Nervenstrom oder die negative Schwankung desselben eine wesentliche Schwächung zeigt, wenn nur die Reizströme nicht zu stark sind.[1]

Sehr irrige Vorstellungen endlich erhält man von dem Einflusse der Stärke des Reizstromes auf die Grösse der negativen Schwankung, wenn man die unipolare Wirkung nicht strenge ausschliesst. Die negative Schwankung beträgt nur einen kleinen Bruchtheil des Längsquerschnittstromes, so lange sie lediglich auf zugeleiteter Erregung beruht, und ich selbst habe sie unter diesen Umständen selten den vierten Theil des Längsquerschnittstromes erreichen gesehen. Man muss mit sehr schwachen Reizen beginnen, wenn man nicht sofort fast maximale Wirkungen erhalten will. Dass die Verstärkung der Reizströme über eine gewisse sehr niedere Grenze hinaus die Grösse der negativen Schwankung fast gar nicht mehr beeinflusst, lässt sich aber freilich nur bei solchen Arten der Reizung beobachten, welche jede unipolare Wirkung ausschliessen. Denn sobald man mit den gewöhnlichen Inductionsapparaten reizt, kann man, wie gesagt, durch passende Stromstärke die negative Schwankung so gross machen, dass der ganze Nervenstrom vorübergehend verschwindet oder gar die Richtung umkehrt.

---

[1] Vergleiche hierüber auch die jüngst erschienene Mittheilung von N. Wedenskii. Centralblatt für die medicinische Wissenschaft vom 2. Februar 1884.

Du Bois-Reymond selbst hat die unipolaren Wirkungen, welche durch das Abfliessen der Elektricität in den Bussolkreis bedingt sind, bei seinen Untersuchungen über die negative Schwankung im Allgemeinen gar nicht ausgeschlossen. Nachdem er sich überzeugt hatte, dass beim Tetanisiren des Nerven mit Inductionsströmen die unipolar abfliessenden Elektricitäten die Magnetnadel nicht ablenken, hat er nur in besonderen Fällen dafür Sorge getragen, dass die unipolaren Wirkungen ausgeschlossen wurden. Ihm war es im Allgemeinen darum zu thun, zu zeigen, dass die elektromotorische Kraft des Nerven im Zustande der Erregung abnehme. Ob nun diese Erregung durch ausschliessliche Reizung der zwischen den Reizelektroden gelegenen Strecke oder zugleich durch Reizung der Nervenstrecke, durch welche sich Elektricität unipolar ergoss, herbeigeführt wurde, schien ihm im Allgemeinen gleichgiltig, wenn nur die dem Nerven zugeführte Elektricität nicht die Ablenkung der Magnetnadel beeinflusste.

Ich will zum Beweise dafür, dass bei du Bois-Reymond's Versuchen die unipolaren Wirkungen beim Tetanisiren mit Inductionsströmen in der Regel nicht ausgeschlossen waren, einige Stellen seines Hauptwerkes anführen, wobei ich bemerken muss, dass die im Folgenden gesperrt gedruckten Stellen dies im Urtexte nicht sind.

Band I, Seite 436, sagt du Bois-Reymond:

„Es fragt sich, kann die Elektricität, welche sich bei dieser Versuchsweise unablässig durch den Nerven verbreiten muss, so wie nicht die Vorrichtung auf das vollkommenste isolirt ist, eine Wirkung auf die Multiplicatornadel ausüben? Dass sich hier wirklich wie bei den unipolaren Inductionszuckungen, unaufhörlich Elektricität ergiesst, ist nicht zu bezweifeln, denn man kann die Zusammenziehungen der thierischen Glieder nur sehr unvollständig dadurch aufheben, dass man den Nerven in der Mitte seine freien Strecke unterbindet; es muss diess, um völlig wirksam zu sein, dicht über der Eintrittsstelle in den Muskel stattfinden.

In Betreff einer Einwirkung dieser abfliessenden Spannungselektricität auf die Multiplicatornadel können wir ausser Sorge sein." Dieser Bemerkung wäre nur hinzuzufügen, dass auch bei der besten überhaupt möglichen Isolirung die unipolaren Wirkungen unter den genannten Umständen nicht ausgeschlossen sind, wenn nur die sonstigen oben angeführten Bedingungen für dieselbe günstig sind.

Im II. Bande, Seite 51, führt du Bois-Reymond den Beweis, dass die negative Schwankung des Muskelstromes nicht auf dem Einbrechen der Inductionselektricität in den Multiplicatorkreis beruhen könne. Es ist hiezu, wie er ausführt, nur nöthig, den Nerven des Gastrocnemius zwischen der

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Reizstrecke und der Bussolstrecke zu unterbinden, wo dann natürlich auch der Muskel in Ruhe bleibt, um die Nadel völlig unbeweglich in ihrer Stellung verharren zu sehen. „Nur muss man, beim Gebrauch einer Inductionsvorrichtung irgend welcher Art zum Tetanisiren, dabei Sorge tragen, dass die Unterbindung dicht über der Eintrittstelle des Nerven in den Muskel angebracht sei. Der Grund dieser Massregel liegt in den unipolaren Inductionszuckungen. Befolgt man dieselbe nicht, so bleibt erwähntermassen der Muskel auch bei der sorgfältigsten und festesten Unterbindung des Nerven nicht in Ruhe, und dem geringen Tetanus, den man noch erhält, entspricht auch noch eine geringe Wirkung auf die Nadel."

Ganz ähnlich spricht sich du Bois-Reymond da aus, wo es sich um die negative Schwankung des Nervenstromes handelt. „Die Unterbindung und Durchschneidung, sagt er (Band II, Seite 431), heben auch hier jede Spur von Nadelbewegung auf. Man muss sich dabei wegen der unipolaren Inductionswirkungen zum Tetanisiren keiner Inductionsvorrichtung, sondern einer Kette bedienen, deren Strom durch den Poggendorff'schen Inversor unterbrochen und zugleich umgekehrt wird."

In dem Abschnitte, welcher „vom Einflusse verschiedener Umstände auf die Grösse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren mit abwechselnden Strömen" handelt, sagt du Bois-Reymond (II. Bd., S. 449): „Ferner wird es nicht selten nothwendig, die Inductionsvorrichtung mit dem Poggendorff'schen Inversor zu vertauschen. Dies ist der Fall erstens, wenn die Grösse der negativen Stromesschwankung beim Tetanisiren verglichen werden soll mit der Grösse der negativen Phase des elektrotonischen Zustandes, welcher durch einen Strom von gleicher Stärke mit dem tetanisirenden selbst erzeugt wird," „für's zweite tritt jene Nothwendigkeit ein, wenn man Störungen der Erfolge zu besorgen hat seitens der Wirkungen, auf denen die unipolaren Inductionszuckungen beruhen. Ich wiederhole es: wenn nicht der gesammte secundäre Inductionskreis, die stromzuführende Vorrichtung, die Zuleitungsgefässe und der Multiplicator selbst auf's Vollkommenste isolirt sind, was begreiflich nicht leicht zu verwirklichen ist, so fliesst fortwährend, je nach der Richtung des tetanisirenden Stromes, bald positive, bald negative Elektricität durch die Strecke zwischen den Blechen und Bäuschen, durch letztere und schliesslich die übrigen Theile der Vorrichtung in den Boden ab. Auf die Nadel zwar bleibt diese Elektricität wirkungslos, aber sie verfehlt nicht, den Nerven schwach zu tetanisiren und kann daher Wirksamkeit einer Anordnung vorspiegeln, die sich sonst als unwirksam erwiesen haben würde, oder die Wirksamkeit, die sie gehabt hätte, erhöht erscheinen lassen. So z. B. hebt aus diesem Grunde die Unterbindung oder Durchschneidung des Nerven zwischen den Blechen und Bäuschen die negative Stromesschwankung bei Anwendung von Inductionsströmen zum Tetanisiren nicht völlig auf." Als du Bois-Reymond zwei Seiten weiter den Einfluss der Stärke des erregenden

Stromes auf die Grösse der negativen Schwankung erörtert, sagt er ausdrücklich: „Der Gebrauch der Inductionsvorrichtungen bietet bei dieser Gelegenheit“ (d. h. bei der Vergleichung der Wirkungen zweier sehr verschiedener Stromstärken) „keine Übelstände dar“.

Einige Zeilen weiter bemerkt er: „Um zu zeigen, dass es auch hier die Dichtigkeit des Stromes ist, nicht seine Stärke unmittelbar, auf welche es ankommt, kann man zu Werke gehen, wie oben für den elektrotonischen Zustand. Man lässt nämlich die erregende Stromesquelle selber unverändert, bringt aber dafür eine Nebenschliessung von der einen zur andern Elektrode an, z. B. einen mit Eiweiss getränkten vieldoppelten Fliesspapierbausch. Es ist jedoch dabei rathsam, die Inductionsvorrichtung mit dem Inversor zu vertauschen, weil sich die Dichtigkeitsverminderung jetzt nicht mehr, wie beim Schwächen der Stromesquelle selber, auch auf die unipolaren Wirkungen erstreckt.“ Ebenso verwirft du Bois-Reymond den Gebrauch der Inductionsvorrichtungen, wenn es sich um den Einfluss der Länge der erregten Strecke (II., S. 459) oder um den Einfluss der Entfernung der abgeleiteten von der erregten Strecke (II., S. 462) handelt.

Aus alldem geht zur Genüge hervor, dass es du Bois-Reymond im Allgemeinen gleichgiltig erschien, ob der Nerv durch die Inductionsströme nur an der zwischen den Reizelektroden gelegenen Strecke oder zugleich auch in seinem übrigen Theile gereizt wurde. Nur wenn in besonderen Fällen die Beschränkung der Reizung auf die zwischen die Reizelektroden eingeschaltete Strecke nöthig erschien, schloss er die unipolaren Wirkungen dadurch aus, dass er mit abwechselnd gerichteten Kettenströmen tetanisirte.

Man muss dabei bedenken, dass du Bois-Reymond damals noch der Ansicht war, der elektrische Strom errege den Nerven auf der ganzen durchflossenen Strecke in überall gleicher Weise. Seit Pflüger's bahnbrechender Untersuchung über den Elektrotonus wissen wir, dass vielmehr der Strom polare Wirkungen hat, welche auf der anodischen Strecke ganz andere sind, als auf der kathodischen. Und wenn du Bois-Reymond noch neuerdings in seinen Untersuchungen über secundär-elektromotorische Erscheinungen an Nerven und Muskeln eine auf der ganzen interpolaren Strecke gleiche innere (positive und negative) Polarisation annimmt, so beruht dies meiner Ansicht nach auf einem Irrthum. Die sogenannten secundär-elektromotorischen Erscheinungen sind die Folge polarer Wirkungen und zeigen ebenso eine polare

Verschiedenheit, wie die Erregbarkeitsänderungen. So kommt es, dass die unipolar durch die Bussolelektroden in den Multiplicatorkreis abfliessende Elektricität den Nerven in der Gegend der Bussolelektroden wesentlich alterirt und sein elektromotorisches Verhalten hier ganz direct verändert; daher die während und nach der Reizung sich zeigenden Änderungen des Nervenstromes keineswegs lediglich die Folge der allgemeinen Änderung des Nerven sind.

An der Stelle, wo du Bois-Reymond den Einfluss der Stärke des erregenden Stromes auf die Grösse der negativen Schwankung erörtert, sagt er (II. Bd., S. 451) ausdrücklich: „Der Gebrauch der Inductionsvorrichtung bietet bei dieser Gelegenheit keine Übelstände dar.“ Und doch sind gerade hier, wo es sich mit um starke Reizströme handelt, die unipolaren Wirkungen am gefährlichsten.

So erklärt sich nun hinreichend, dass du Bois-Reymond's Angaben in mancher Beziehung von dem abweichen, was die Untersuchung der negativen Schwankung bei Ausschluss der unipolaren Wirkungen lehrt. Inwieweit das oben geschilderte Verhalten des Nervenstromes bei Reizung mit starken Inductionsströmen auf den unipolaren Wirkungen und somit auf directer Reizung und Alteration der Bussolstrecke und in wie weit es nur auf einer Steigerung derjenigen Erregung beruht, welche der Bussolstrecke von der Reizstrecke her zugeleitet wird, will ich hier nicht weiter untersuchen. Nur das will ich noch hervorheben, dass es mir an kräftigen Nerven und mit Reizmethoden, bei welchen die unipolaren Wirkungen ausgeschlossen sind, nie gelungen ist, ein ähnliches Verhalten des Nervenstromes während der Reizung zu beobachten, wie es sich zeigte, wenn starke Inductionsströme angewendet wurden und unipolare Wirkungen nachweisbar ins Spiel kamen.

Auf eine theoretische Erörterung der positiven Nachschwankung kann ich erst eingehen, wenn ich zuvor einige andere elektrische Erscheinungen am gereizten Nerven beschrieben haben werde.